

Д. А. Камаев, В. Э. Фризен, В. И. Лузгин

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

[kamaev\\_dima@mail.ru](mailto:kamaev_dima@mail.ru)

## ДВУХЧАСТОТНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ ПЛАВКА МЕТАЛЛОВ

*В работе приведена электрическая схема для двухчастотной индукционной плавки металлов и описан принцип ее работы. Разработана методика расчета индуктора печи и компенсирующего устройства. По результатам расчетов модель индукционной тигельной печи построена в программном комплексе COMSOL Multiphysics, выполнен электромагнитный, гидродинамический и тепловой расчет. По результатам расчетов можно сделать вывод, что приведенная схема позволяет увеличить КПД печи и снизить время цикла работы печи.*

Ключевые слова: двухчастотная индукционная плавка; индукционная тигельная печь; компенсирующее устройство.

D. A. Kamaev, V. E. Frizen, V. I. Lusgin

Ural Federal University, Ekaterinburg

## DUAL FREQUENCY INDUCTION MELTING OF METAL

*The paper presents electrical circuit for dual-frequency induction melting of metals and describes the principle of its operation. A methodology for calculating the furnace inductor and compensating device has been developed. According to the calculation results, the model of the induction crucible furnace was built in the COMSOL Multiphysics software package, and electromagnetic, hydrodynamic, and thermal calculations were performed. Based on the calculation results, we can conclude that the above scheme allows increasing the efficiency of the furnace and reducing the cycle time of the furnace.*

Keywords: dual-frequency induction melting; induction crucible furnace; compensating device.

Индукционная плавка металлов в сильных электромагнитных полях широко используется для получения сложных сплавов черных и цветных металлов. Для получения однородной структуры сплава с высокой точностью распределения температуры в ванне расплава электропитание печей производится токами высокой и низкой частоты на разных стадиях плавки. На этапе плавки производится питание индуктора печи высокочастотным током, на этапе перемешивания – низкочастотным. В случае питания индуктора только лишь высокочастотным током, объемные электродинамические силы высокочастотного электромагнитного поля на расплав металла сконцентрированы в пристеночной области тигля и, как следствие, скорость движения металла в тигле печи, а также скорость выравнивания химического состава по объему тигля относительно невелики. Таким образом, электропитание тигельной печи токами высокой и низкой частоты на разных технологических стадиях плавки металла позволяет повысить эффективность и расширить технологические возможности печи.

Для осуществления предложенного принципа работы предложена схема и методика ее расчета. Методика расчета геометрических размеров индуктора описана в [1]. Выполнено моделирование процессов, проходящих в тигле печи на различных циклах технологического процесса плавки металлов.

Моделирование индукционной тигельной печи проводилось в программном комплексе *COMSOL Multiphysics v5.4* в двумерной аксиально-симметричной постановке. На первом этапе во время процесса плавки задача решалась при частоте 500 Гц, затем, при достижении температуры расплавления металла, частота снижается до 150 Гц (по результатам расчета). В ходе моделирования были решены электромагнитная, гидродинамическая и теплообменная задачи, связанные между собой.

После снижения частоты тока индуктора характер течения металла в тигле печи не изменился, но при этом изменилась максимальная величина скорости. На высокой частоте она составляет 0,5 м/с, на низкой – 1 м/с.

График выравнивания температур показан на рисунке.

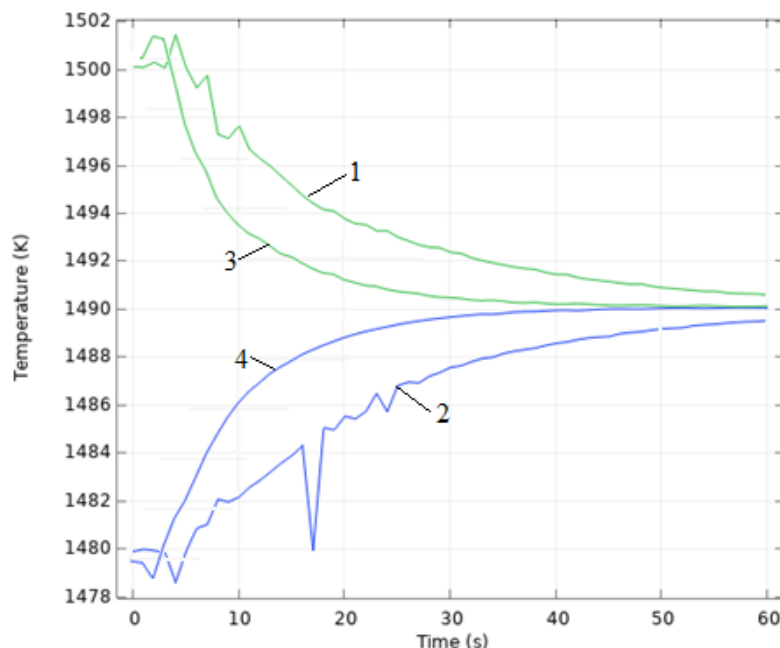


График выравнивания температур в нижней и верхней части тигля:  
1, 2 – максимальная и минимальная температуры на частоте 500 Гц;  
3, 4 – максимальная и минимальная температуры на частоте 150 Гц

Исходя из результатов вычислительных экспериментов, можно сделать вывод, что для увеличения скорости процесса плавки необходимо на этапе перемешивания снижать частоту колебательного контура. Как можно видеть на графике, представленном на рисунке, при частоте 150 Гц к 50 секунде разница между максимальной и минимальной температурой в объеме печи снижается практически до нуля, другими словами, происходит более быстрое перемешивание металла, достигается выравнивание химического состава по объему тигля. На частоте 500 Гц к 50 секунде выравнивание температур по объему тигля не достигается. Данная мера позволяет сократить время цикла, мощность тепловых потерь, а также улучшить качество выплавляемого металла.

#### Список использованных источников

1. Лузгин В. И. Плавильные комплексы на основе индукционных тигельных печей и их математическое моделирование : учебное пособие / В. И. Лузгин, С. Ф. Сарапулов, Ф. Н. Сарапулов, Б. А. Сокунов и др. // Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. 464 с.